

Optical integrated devices with circular-grating resonators

Doctoral Thesis**Author(s):**

Bay, Asma Jebali

Publication date:

2006

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005180543>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Diss. ETH No. 16530

Optical Integrated Devices with Circular-Grating Resonators

A dissertation submitted to the
ETH Zurich

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by
ASMA JEBALI BAY
Dipl. Ing. Microtechnique
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
born February 9th, 1978
Citizen of Tunisia

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. W. Bächtold, examiner
Dr. R.F. Mahrt, co-examiner
Prof. Dr. V. Sandoghdar, co-examiner

2006

Summary

The Circular Grating Resonators (CGRs) consist of an array of concentric and periodic rings that act as distributed Bragg reflectors. The scope of this thesis covers the modeling and characterization of CGRs for their application in integrated optics as lasers and all-optical switches. This is presented in three parts.

The first part is dedicated to the modeling of the CGRs. In order to inspect their spectral behavior and to compute their quality factor (Q) as free-standing microcavities, an analytical model based on a transfer matrix method (TMM) is developed. Moreover, extensive 2D numerical simulations are performed with the finite elements method, where two optical waveguides are used for lateral coupling into and out of the CGRs. In fact, when these resonators have high Q -values, the in-plane coupling into the inner microcavity becomes a challenging issue. This in-plane coupling is therefore thoroughly studied, aiming a potential application of the waveguide-coupled CGRs as all-optical switches.

In the second part, the CGRs are applied as organic distributed-feedback lasers. In fact, when the gratings are designed according to the second-order Bragg condition, they manifest not only an in-plane feedback, but also an out-of-plane perpendicular diffraction. Therefore, the circular gratings are etched in a quartz substrate and spin-coated with an active polymer as gain medium. The photoluminescence spectra are measured below and above lasing threshold: Below threshold, they demonstrate a clear peak inside the photonic bandgap. The spectral position of the emerging peak is accordingly compared to the analytical TMM-based results. The experimental and simulation results are in perfect agreement. Above threshold, this peak leads to lasing in the blue-green region with a high quality-factor at a low threshold.

The third part of the thesis deals with the technological aspects for the fabrication of the waveguide-coupled CGRs in a high-index material. The materials of choice are titanium dioxide (TiO_2) and its derivative titanium oxynitride (TiON). Hence, preliminary test waveguides have been processed and characterized. Their corresponding loss measurements are presented and discussed. In order to efficiently couple into the TiO_2/TiON waveguides, a spot-size converter is designed in a polymer material (SU8). Therefore, SU8 waveguides are investigated as well.

Résumé

Les Résonateurs à Réseaux Circulaires (RRCs) consistent en une rangée d'anneaux concentriques et périodiques qui agissent comme des réflecteurs de Bragg distribués. L'objectif de cette thèse est la modélisation et la caractérisation des RRCs pour leur application en optique intégrée en tant que lasers et commutateurs tout-optiques. Ceci est fait en trois parties.

La première partie est dédiée à la modélisation des RRCs. Un modèle analytique, basé sur la méthode des matrices de transfert (MMT), est développé pour évaluer la réponse spectrale des RRCs et pour calculer leur facteur de qualité (Q) en tant que cavités isolées. Le couplage latéral dans la microcavité représente un grand défi lorsque ces résonateurs ont de très hauts facteurs de qualité. Par conséquent, ce couplage planaire a été étudié en détail à l'aide de simulations numériques bidimensionnelles utilisant la méthode des éléments finis, où deux guides d'onde optiques servent au couplage à l'intérieur et en dehors des RRCs. Une application potentielle pour ce résonateur couplé est la commutation toute-optique.

Dans la deuxième partie, les RRCs sont implémentés en tant que lasers à rétroaction distribuée. En effet, lorsque les réseaux sont conçus selon la condition de Bragg du second ordre, ils ne présentent pas seulement une rétroaction planaire mais aussi une diffraction perpendiculaire hors plan. Les réseaux circulaires sont alors gravés dans un substrat de quartz et enduits d'une couche de polymère actif servant comme milieu à gain. Les spectres de photoluminescence sont mesurés au dessous et au dessus du seuil laser : Au dessous du seuil, un pic est détecté au centre de la bande interdite photonique. La position spectrale de ce pic est comparée à celle calculée analytiquement à l'aide de la MMT. Les résultats expérimentaux et simulés sont en parfait accord. Au dessus du seuil, le pic en question déclenche une opération laser dans le bleu-vert avec un haut facteur de qualité et un seuil bas.

La troisième partie de la thèse est consacrée à la fabrication d'un RRC couplé avec des guides d'onde dans des matériaux à haut indice de réfraction : le dioxyde de titane (TiO_2) et son dérivé l'oxynitride de titane (TiON). Des guides d'onde préliminaires ont donc été fabriqués et optiquement caractérisés. Les estimations de pertes correspondantes sont présentées. Pour un couplage efficace dans ces guides d'ondes, un convertisseur de taille de faisceau est conçu dans un polymère, le SU8, dont les guides d'ondes ont été également traités.